

**PENERAPAN LOGIKA FUZZY DALAM PEMODELAN
PERKIRAAN TINGKAT INFLASI DI INDONESIA**
Application of Fuzzy Logic for modeling Inflation Rate in Indonesia

Oleh: Ali Muhson
(Staf Pengajar FISE Universitas Negeri Yogyakarta)

Abstract

Modeling for inflation rate in Indonesia was done by some researcher with conventional model. The conventional model can not be applied if the data are linguistic variables. Fuzzy system can be used to overcome the weak of this method. The goal of this research is to establish the model for forecasting inflation rate in Indonesia based on fuzzy time series data.

In this research, forecasting inflation rate use table look up scheme method based on multivariate fuzzy time series data. This research is done by the following steps: 1) determine input-output data; 2) determine fuzzification for input-output data; 3) determine fuzzy rules base by table lookup scheme method; 4) construct fuzzy inference engine; 5) construct defuzzification; 6) construct fuzzy system for modeling inflation rate in Indonesia; 7) determine validation for model used MSE criteria.

The results of this research are 1) we develop 8 fuzzy models; 2) The model with Gaussian membership function, minimum inference engine, 25 fuzzy rules has minimum MSE value, 5.5671. Therefore this model can be used to predict inflation rate in Indonesia based on inflation previously , credit interest rate, money supply, gross national product and exchange rate of Rupiah.

Key words: inflation, fuzzy system, fuzzy time series

A. Pendahuluan

Perekonomian Indonesia mengalami krisis ekonomi yang berkepanjangan sejak pertengahan tahun 1997,. Tanda-tanda berakhirnya krisis ekonomi itu belum tampak sampai sekarang, sehingga mengakibatkan perekonomian Indonesia semakin terpuruk. Seiring dengan terjadinya krisis yang berkepanjangan tersebut, harga barang dan jasa pun semakin meningkat tajam. Kebijakan pemerintah yang menaikkan harga Bahan Bakar Minyak (BBM) pada tahun 2005 telah berakibat menaikkan harga barang.

Pemerintah selalu mengambil kebijakan untuk menekan laju pertumbuhan inflasi, bahkan pemerintah selalu menargetkan bahwa laju inflasi harus di bawah dua

digit. Hal ini dilakukan agar beban masyarakat tidak semakin berat akibat adanya kenaikan harga tersebut. Oleh karena itu hampir di setiap kebijaksanaan ekonomi yang diambil pemerintah selalu mempertimbangkan dampaknya terhadap kenaikan harga barang dan jasa.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi inflasi antara lain adalah tingkat inflasi sebelumnya, jumlah uang yang beredar, nilai tukar rupiah, tingkat bunga dan pendapatan nasional. Kemudian berdasarkan penelitian Muhson, A. (1999), dengan metode regresi, diperoleh hubungan yang signifikan antara jumlah uang yang beredar, nilai tukar rupiah, tingkat bunga, pendapatan nasional dan tingkat inflasi di Indonesia.

Salah satu cara lain untuk memodelkan tingkat inflasi di Indonesia berdasarkan faktor-faktor di atas adalah dengan sistem fuzzy. Sistem fuzzy adalah sistem yang terdiri dari fuzzifikasi, basis aturan fuzzy, mesin inferensi fuzzy dan defuzzifikasi. Sistem fuzzy ini didasarkan pada logika fuzzy. Kemudian logika fuzzy ini didasarkan pada pengetahuan para pakar untuk menentukan aturan-aturannya. Jadi kelebihan dari sistem ini adalah proses pemodelannya tidak hanya berdasarkan pada data-data real tetapi juga berdasarkan pengetahuan para ahli dibidangnya.

Salah satu model fuzzy yang dapat digunakan untuk pemodelan berdasarkan data-data waktu sebelumnya adalah model fuzzy time series. Pengembangan model fuzzy time series univariat telah dilakukan oleh Hwang (1998), Huarng (2001), Chen, (1996, 2002), Sah dan Degtiarev (2004), Chen dan Hsu (2004). Selanjutnya Wang, L.X. (1997) telah mengembangkan model *fuzzy* berdasarkan data sampel dengan metode *table look up scheme*, *gradient descent training*, *recursive least squares* dan *clustering*.

Pemodelan data *fuzzy time series* multivariat telah dilakukan oleh Lee (2006) dan Jilani (2007) yang prosedur perhitungannya masih sangat kompleks khususnya untuk data yang banyak. Untuk peramalan tingkat inflasi di Indonesia model regresi *fuzzy* terbukti mempunyai keakuratan yang lebih baik dibandingkan dengan metode regresi (Abadi, dkk., 2006).

Berdasarkan uraian di atas timbul permasalahan "Bagaimana membentuk model perkiraan tingkat inflasi di Indonesia berdasarkan jumlah uang yang beredar, nilai tukar rupiah, tingkat bunga dan pendapatan nasional dengan menggunakan data fuzzy time series multivariat".

B. Kajian Pustaka

1. Sistem Fuzzy

Sistem fuzzy adalah suatu sistem dengan inputnya adalah n -tupel bilangan real atau himpunan fuzzy dan outputnya adalah bilangan real yang dibentuk dengan

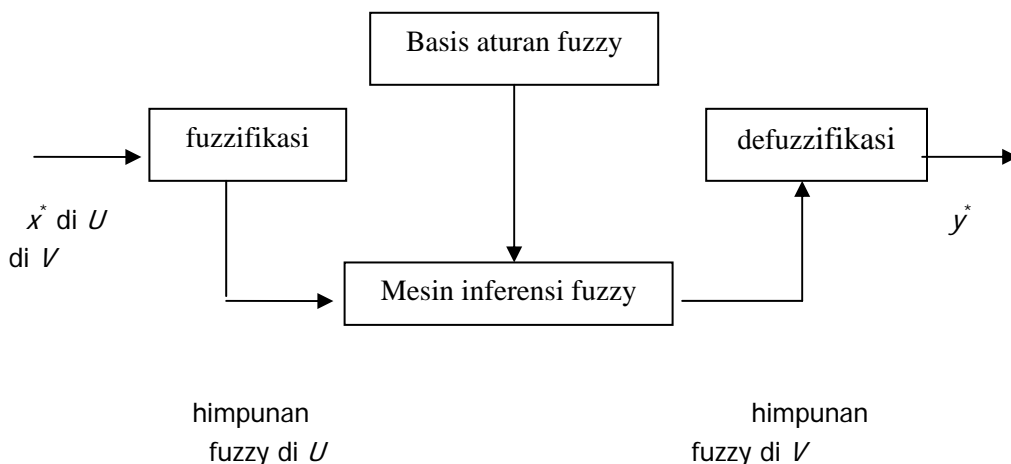
menggunakan fuzzifikasi, basis aturan fuzzy, mesin inferensi fuzzy dan defuzzifikasi. Suatu basis aturan fuzzy terdiri dari himpunan aturan **jika-maka** fuzzy yang berbentuk:

Jika x_1 adalah A_1^l dan x_2 adalah A_2^l dandan x_n adalah A_n^l , maka y adalah B^l

(1)

dengan A_i^l, B^l berturut-turut adalah himpunan fuzzy di $U \subset R$ dan $V \subset R$, (x_1, x_2, \dots, x_n) dan y adalah variabel input output dari sistem fuzzy tersebut, $l = 1, 2, \dots, M$ yaitu banyaknya aturan dalam basis aturan fuzzy.

Fuzzifikasi adalah suatu pemetaan yang memetakan titik $x^* \in U \subset R^n$ ke suatu himpunan samar A di U . Ada tiga tipe fuzzifikasi yaitu singleton, Gaussian dan segitiga. Sedangkan defuzzifikasi adalah suatu pemetaan dari himpunan samar B di $V \subset R$ ke suatu titik bernilai real $y \in V$. Ada tiga tipe defuzzifikasi yaitu *center of gravity*, *center overage* dan maksimum. Kemudian dengan menggunakan logika fuzzy, mesin inferensi fuzzy mengkombinasikan aturan **jika – maka fuzzy** dengan suatu pemetaan dari himpunan A di U ke suatu himpunan samar B di V . Beberapa bentuk dari mesin inferensi fuzzy yang biasa digunakan dalam sistem fuzzy adalah mesin inferensi pergandaan, minimum, Lukasiewicz, Sadeh, Dienes-Rescher. Mengingat jenis-jenis fuzzifikasi, defuzzifikasi dan mesin inferensi fuzzy tersebut, maka ada 45 tipe sistem fuzzy yang merupakan kombinasi dari jenis-jenis tersebut.



Gambar 2.1: Pembentukan sistem fuzzy

Definisi 1(Wang, 1997): Suatu fuzzifikasi singleton memetakan suatu titik bernilai real $x^* \in U$ ke suatu singleton fuzzy A' di U dengan nilai keanggotaan dari x^* pada A' adalah 1 dan 0 untuk yang lainnya dengan fungsi keanggotaannya adalah

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} 1, & \text{jika } x = x^* \\ 0, & \text{untuk } x \neq x^* \end{cases}$$

(2)

Definisi 2(Wang, 1997): Suatu mesin inferensi pergandaan adalah berbentuk :

$$\mu_{B'}(y) = \max_{l=1}^M \left[\sup_{x \in U} \left((\mu_{A'}(x) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i'}(x_i) \mu_{B^l}(y)) \right) \right]$$

(3) dengan A' adalah himpunan fuzzy di U dan B^l adalah himpunan fuzzy di V .

Definisi 3(Wang, 1997): Misalkan B' adalah gabungan atau irisan dari M himpunan fuzzy, \bar{y}^l adalah pusat dari himpunan fuzzy ke- l , w_l adalah tingginya, maka defuzzifikasi rata-rata pusat akan menentukan y^* sebagai berikut :

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l w_l}{\sum_{l=1}^M w_l}$$

(4)

Jika himpunan fuzzy B' adalah normal dengan pusat \bar{y}^l , maka menurut Wang(1997), sistem fuzzy dengan basis aturan fuzzy, mesin inferensi pergandaan, fuzzifikasi singleton dan defuzzifikasi rata-rata pusat adalah

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_i'}(x_i) \right)}{\sum_{l=1}^M \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_i'}(x_i) \right)}$$

(5)

dengan input $x \in U \subset R^n$ dan $f(x) \in V \subset R$.

dan sistem fuzzy dengan basis aturan fuzzy, mesin inferensi minimum, fuzzifikasi singleton dan defuzzifikasi rata-rata pusat adalah

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l \left(\min_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i) \right)}{\sum_{l=1}^M \left(\min_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i) \right)}$$

(6)

Sistem fuzzy pada persamaan (5) dan (6) adalah pemetaan tak linear yang memetakan $x \in U \subset R^n$ ke $f(x) \in V \subset R$. Jika dipilih fungsi keanggotaan $\mu_{A_i^l}$ dan μ_{B^l} yang berbeda-beda maka diperoleh sistem fuzzy yang berbeda-beda pula. Misalkan $\mu_{A_i^l}$ dan μ_{B^l} adalah fungsi keanggotaan Gaussian, yaitu :

$$\mu_{A_i^l}(x_i) = a_i^l \exp \left(- \left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right) \text{ dan}$$

(7)

$$\mu_{B^l}(x_i) = \exp \left(- (y - \bar{y}^l)^2 \right)$$

(8)

dengan $a_i^l \in (0, 1]$, $\sigma_i^l \in (0, \infty)$, $\bar{x}_i^l, \bar{y}^l \in R$, maka sistem fuzzy (5) menjadi :

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M \bar{y}^l \left(\prod_{i=1}^n a_i^l \exp \left(- \left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right) \right)}{\sum_{l=1}^M \left(\prod_{i=1}^n a_i^l \exp \left(- \left(\frac{x_i - \bar{x}_i^l}{\sigma_i^l} \right)^2 \right) \right)}$$

(9)

Misalkan ada N pasang *input-output* (x_0^l, y_0^l) , $l = 1, 2, 3, \dots, N$. Selanjutnya akan dibentuk sistem fuzzy $f(x)$ yang sesuai dengan semua pasang N untuk sembarang ketepatan yang diinginkan yaitu untuk setiap $\varepsilon > 0$, $|f(x_0^l) - y_0^l| < \varepsilon$ dengan $l = 1, 2, 3, \dots, N$.

Jika dipilih $a_i^l = 1$, $\sigma_i^l = \sigma$ dan $|x - x_0^l|^2 = \sum_{i=1}^s (x_i - x_{0i}^l)^2$, maka sistem fuzzy (9) menjadi

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^N y_0^l \exp\left(-\frac{|x - x_0^l|^2}{\sigma^2}\right)}{\sum_{l=1}^N \exp\left(-\frac{|x - x_0^l|^2}{\sigma^2}\right)} \quad (10)$$

dengan y_0^l adalah pusat dari himpunan samar B^l .

Teorema 1 (Wang, 1997): Untuk setiap $\varepsilon > 0$, terdapat $\sigma^* > 0$ sehingga sistem fuzzy (10) dengan $\sigma = \sigma^*$ mempunyai sifat $|f(x_0^l) - y_0^l| < \varepsilon$, untuk $l = 1, 2, \dots, N$.

Berdasarkan Teorema 2.1, Semakin kecil σ , semakin kecil kesalahan $|f(x_0^l) - y_0^l|$ tetapi grafik $f(x)$ menjadi tidak halus. Jika grafik $f(x)$ tidak halus, maka $f(x)$ mungkin tidak dapat digunakan untuk mengeneralisasi data-data diluar sampel. Oleh karena itu perlu dicari σ sehingga $f(x)$ dapat mewakili data-data diluar sampel dan juga meminimalkan kesalahan dari data-data sampel. Parameter σ berdimensi satu sehingga biasanya tidak sulit untuk menentukan σ yang sesuai untuk masalah sesungguhnya.

2. Fuzzy time series univariat

Sebelum mengembangkan prosedur peramalan berdasarkan data *fuzzy time series* multivariat, berikut ini akan diberikan beberapa definisi *fuzzy time series* dan sifat-sifatnya.

Definisi 4 (Song and Chissom, 1993): Misalkan $Y(t)$, $t = \dots, 0, 1, 2, \dots$, adalah himpunan bagian dari \mathbf{R} dan $f_i(t)$, $i = 1, 2, 3, \dots$, adalah himpunan *fuzzy* yang didefinisikan pada $Y(t)$. Misalkan $F(t)$ adalah himpunan yang anggotanya adalah $f_i(t)$, $i = 1, 2, 3, \dots$, maka $F(t)$ disebut *fuzzy time series* pada $Y(t)$, $t = \dots, 0, 1, 2, 3, \dots$.

Berdasarkan Definisi 4, $F(t)$ merupakan himpunan dari variabel linguistik dan $f_i(t)$ adalah nilai linguistik yang mungkin dari $F(t)$. Nilai $F(t)$ dapat berbeda-beda

untuk t yang berbeda sehingga $F(t)$ merupakan fungsi dari t . Berikut ini akan berikan cara pemodelan *fuzzy time series* dengan menggunakan pendekatan persamaan relasi *fuzzy* yang dilakukan oleh Song, Q dan Chissom, B.S. (1993).

Definisi 5 (Song and Chissom, 1993): Misalkan I dan J adalah himpunan indeks berturut-turut untuk $F(t-1)$ dan $F(t)$, jika untuk setiap $f_j(t) \in F(t)$, $j \in J$, ada $f_i(t-1) \in F(t-1)$, $i \in I$ sedemikian sehingga ada relasi *fuzzy* $R_{ij}(t, t-1)$ dan $f_j(t) = f_i(t-1) \circ R_{ij}(t, t-1)$ dengan \circ adalah komposisi mak-min, maka $F(t)$ dikatakan hanya dipengaruhi oleh $F(t-1)$.

Selanjutnya dinotasikan dengan:

$$f_i(t-1) \rightarrow f_j(t) \text{ atau ditulis } F(t-1) \rightarrow F(t).$$

Berdasarkan Definisi 5, jika relasi *fuzzy* antara $f_i(t)$ dan $f_j(t)$ diketahui, maka dapat ditentukan nilai $f_j(t)$.

Definisi 6 (Song and Chissom, 1993): Misalkan I dan J adalah himpunan indeks berturut-turut untuk $F(t-1)$ dan $F(t)$, jika untuk setiap $f_j(t) \in F(t)$, $j \in J$, ada $f_i(t-1) \in F(t-1)$, $i \in I$ sedemikian sehingga ada relasi *fuzzy* $R_{ij}(t, t-1)$ dan $f_j(t) = f_i(t-1) \circ R_{ij}(t, t-1)$, $R(t, t-1) = \bigcup_{i,j} R_{ij}(t, t-1)$ dengan \cup adalah operator gabungan, maka $R(t, t-1)$ disebut relasi *fuzzy* antara $F(t)$ dan $F(t-1)$ dengan

$$F(t) = F(t-1) \circ R(t, t-1).$$

Berdasarkan definisi 6, untuk menentukan nilai $F(t)$ harus dihitung semua nilai relasi *fuzzy* $R_{ij}(t, t-1)$ kemudian dengan menggunakan komposisi mak-min dengan $F(t-1)$ dapat diperoleh nilai $F(t)$.

Definisi 7 (Song and Chissom, 1993): Jika untuk $t_1 \neq t_2$, $R(t_1, t_1-1) = R(t_2, t_2-1)$ atau $R_a(t_1, t_1-m) = R_a(t_2, t_2-m)$ atau $R_o(t_1, t_1-m) = R_o(t_2, t_2-m)$, maka $F(t)$ disebut *fuzzy time series* time invariant, jika tidak demikian $F(t)$ disebut *fuzzy time series* time variant.

Model *fuzzy time series* time invariant independen terhadap waktu t sehingga dalam penerapannya lebih mudah dibandingkan dengan *fuzzy time series* time variant. Oleh karena itu perlu diturunkan suatu sifat suatu *fuzzy time series* adalah time invariant.

Teorema 2 (Song dan Chissom, 1993): Jika $F(t)$ adalah *fuzzy time series* dan untuk setiap t , banyaknya elemen dari $F(t)$ berhingga $f_i(t)$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$, dan $F(t) = F(t-1)$, maka $F(t)$ adalah *fuzzy time series* time invariant.

Teorema 3 (Song dan Chissom, 1993): Jika $F(t)$ adalah *fuzzy time series* time invariant, maka

$$R(t, t-1) = \dots \cup f_{i1}(t-1) \times f_{j0}(t) \cup f_{i2}(t-2) \times f_{j1}(t-1) \cup \dots$$

$$\cup f_{im}(t-m) \times f_{jm-1}(t-m+1) \cup \dots$$
 untuk suatu bilangan bulat positif m dan untuk setiap pasang himpunan *fuzzy* yang berbeda.

Berdasarkan Teorema 3, untuk menghitung relasi *fuzzy* menjadi lebih sederhana karena tidak harus menghitung relasi *fuzzy* dari semua pasang yang mungkin. Jadi cukup dilihat satu pasang dari elemen $F(t)$ dan $F(t-1)$ untuk semua t yang mungkin. Hal ini berarti untuk mengkonstruksikan model dari *fuzzy time series* time invariant, cukup diperlukan satu observasi untuk setiap t dan membuat relasi *fuzzy* untuk setiap pasang observasi dari waktu t yang berbeda. Selanjutnya gabungan dari semua relasi *fuzzy* itu menjadi relasi dari model tersebut. Teorema 2 sangat berguna dalam perhitungan sebab kadang-kadang dari suatu pengamatan hanya dipunyai satu data dari setiap waktu t .

3. *Fuzzy time series* multivariat

Misalkan $F(t)$ *fuzzy time series* pada $Y(t)$, $t = \dots, 0, 1, 2, 3, \dots$. Jika $F(t)$ dipengaruhi oleh $(F_1(t-1), F_2(t-1)), (F_1(t-2), F_2(t-2)), \dots, (F_1(t-n), F_2(t-n))$, maka relasi *fuzzy* ini dinyatakan dengan $(F_1(t-n), F_2(t-n)), \dots, (F_1(t-2), F_2(t-2)), (F_1(t-1), F_2(t-1)) \rightarrow F(t)$ dan disebut *fuzzy time series* order n dua faktor dengan $F_1(t), F_2(t)$ berturut-turut merupakan faktor utama dan faktor sekunder. Selanjutnya definisi ini diperluas untuk m faktor yaitu relasi *fuzzy* yang dinyatakan dengan

$$\begin{aligned} & (F_1(t-n), F_2(t-n), \dots, F_m(t-n)), \dots, \\ & (F_1(t-2), F_2(t-2), \dots, F_m(t-2)), \\ & (F_1(t-1), F_2(t-1), \dots, F_m(t-1)) \rightarrow F(t) \end{aligned}$$

disebut *fuzzy time series* order n dengan m faktor, dengan $F_1(t)$ merupakan faktor utama dan $F_2(t), \dots, F_m(t)$ disebut faktor sekunder.

C. Metode Penelitian

Di dalam penelitian ini model untuk peramalan tingkat inflasi didasarkan pada data *fuzzy time series* multivariat order satu dan lima faktor dengan metode *table look-up scheme*. Order *fuzzy time series* dipilih satu untuk mengurangi kompleksitas perhitungan dan metode *table look-up scheme* dipilih untuk mengurangi banyaknya aturan fuzzy.

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel data tingkat inflasi, jumlah uang yang beredar, nilai tukar rupiah, tingkat bunga dan pendapatan nasional dari Biro Pusat Statistik Yogyakarta mulai tahun 1980 sampai tahun 2006. Data dari tahun 1980 sampai tahun 2005 digunakan untuk membentuk model dan data tahun 2006 digunakan untuk prediksi. Tingkat keakuratan diukur dengan *mean square error* (MSE).

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- a. Menentukan input-output data berdasarkan data fuzzy time series.
- b. Menentukan fuzzifikasi
Membentuk fungsi keanggotaan yang didefinisikan pada domain dari input dan output data. Melakukan fuzzifikasi untuk data input dan output dengan berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah didefinisikan.
- c. Menentukan basis aturan fuzzy
Membentuk aturan fuzzy yang dibangun dari setiap pasang input-output data sampel dengan menggunakan *table lookup scheme*. Kumpulan dari aturan fuzzy akan membentuk basis aturan fuzzy.
- d. Membentuk mesin inferensi fuzzy
Menentukan mesin inferensi fuzzy, dalam penelitian ini digunakan mesin inferensi fuzzy pergandaan dan minimum.
- e. Membentuk defuzzifikasi
Menentukan jenis defuzzifier, dalam penelitian ini dipilih defuzzifier rata-rata pusat.
- f. Mengkonstruksi sistem fuzzy sebagai model perkiraan tingkat inflasi di Indonesia.
Berdasarkan kombinasi dari fuzzifikasi, basis aturan fuzzy, mesin inferensi fuzzy dan defuzzifikasi ditentukan model fuzzy untuk peramalan tingkat inflasi.
- g. Menentukan validasi model yang dibuat dengan menentukan MSE.

D. Hasil dan Pembahasan

Peramalan tingkat inflasi berdasarkan data *fuzzy time series* multivariat dengan metode *table look-up scheme* dengan inputnya adalah tingkat inflasi sebelumnya, tingkat suku bunga kredit, nilai tukar rupiah terhadap US \$, jumlah uang beredar, pendapatan nasional dan outputnya adalah tingkat inflasi adalah sebagai berikut:

1. Didefinisikan himpunan *fuzzy* untuk setiap domain dari semua variabel sehingga domain terpartisi oleh himpunan *fuzzy* tersebut.

Di dalam penelitian ini untuk domain dari tingkat inflasi, tingkat suku bunga kredit, jumlah uang yang beredar (milyar rupiah), pendapatan nasional (milyar rupiah), nilai tukar rupiah, berturut-turut adalah $[0 \ 100]$, $[10 \ 25]$, $[4000 \ 400000]$, $[40000 \ 4000000]$, $[600 \ 11000]$ dan pada domain tersebut berturut-turut didefinisikan himpunan *fuzzy*, kasus pertama sebanyak 26, 6, 10, 21 dan 27, kedua sebanyak 51, 6, 10, 21 dan 27, dengan fungsi keanggotaan Gaussian dan segitiga.

2. Dilakukan fuzzifikasi data untuk setiap pasang input-output data $(x_{i-1}, y_{2,i-1}, y_{3,i-1}, y_{4,i-1}, y_{5,i-1}; x_i)$, misalkan fuzzifikasi data tingkat inflasi pada tahun ke- i adalah A_i dan untuk faktor sekundernya adalah $B_{2,i}, B_{3,i}, B_{4,i}, B_{5,i}$, maka dibentuk relasi *fuzzy* $(A_{i-1}, B_{2,i-1}, B_{3,i-1}, B_{4,i-1}, B_{5,i-1}) \rightarrow A_i$. Relasi *fuzzy* ini menghasilkan aturan *fuzzy*: Jika x_{i-1} adalah A_{i-1} dan $y_{2,i-1}$ adalah $B_{2,i-1}$ dan $y_{3,i-1}$ adalah $B_{3,i-1}$ dan $y_{4,i-1}$ adalah $B_{4,i-1}$ dan $y_{5,i-1}$ adalah $B_{5,i-1}$, maka x_i adalah A_i .

Berdasarkan fuzzifikasi data ini, untuk kasus pertama yaitu banyaknya fungsi keanggotaan yang didefinisikan pada domain tingkat inflasi, tingkat suku bunga kredit, jumlah uang yang beredar (milyar rupiah), pendapatan nasional (milyar rupiah), nilai tukar rupiah berturut-turut 26, 6, 10, 21 dan 27, diperoleh 25 aturan *fuzzy* yang belum terseleksi. Untuk kasus kedua yaitu banyaknya fungsi keanggotaan yang didefinisikan pada domain tingkat inflasi, tingkat suku bunga kredit, jumlah uang yang beredar (milyar rupiah), pendapatan nasional (milyar rupiah), nilai tukar rupiah berturut-turut 51, 6, 10, 21 dan 27, diperoleh 25 aturan *fuzzy* yang belum terseleksi.

3. Jika ada aturan yang antecedennya sama tetapi konsekuennya berbeda, maka pilih aturan yang derajatnya terbesar.

Misalkan aturan *fuzzy*:

Jika x_{i-1} adalah A_{i-1} dan $y_{2,i-1}$ adalah $B_{2,i-1}$ dan $y_{3,i-1}$ adalah $B_{3,i-1}$ dan $y_{4,i-1}$ adalah $B_{4,i-1}$ dan $y_{5,i-1}$ adalah $B_{5,i-1}$, maka x_i adalah A_i .

Derajat aturan fuzzy tersebut adalah

$$A_{i-1}(x_{i-1})B_{2,i-1}(y_{2,i-1})B_{3,i-1}(y_{3,i-1})B_{4,i-1}(y_{4,i-1})B_{5,i-1}(y_{5,i-1})A_i(x_i)$$

Berdasarkan langkah (3) ini diperoleh 17 aturan fuzzy untuk kasus pertama dan 25 aturan fuzzy untuk kasus kedua.

4. Bentuk basis aturan *fuzzy* yang terdiri dari aturan-aturan yang diperoleh dari langkah (3). Tujuh belas aturan fuzzy membentuk basis aturan fuzzy untuk kasus pertama dan 25 aturan fuzzy membentuk basis aturan fuzzy untuk kasus kedua.
5. Bentuk model *fuzzy* yang didasarkan pada basis aturan *fuzzy* yang terbentuk. Di dalam penelitian ini digunakan fuzzifikasi singleton, mesin inferensi pergandaan (minimum) dan defuzzifikasi rata-rata pusat.

Jadi berdasarkan prosedur pembentukan model *fuzzy* di atas, terdapat 8 model fuzzy. Model *fuzzy* yang dibentuk berdasarkan metode di atas digunakan untuk peramalan tingkat inflasi tahun 2006. Validasi dilakukan dengan menentukan nilai $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_5^2$ sedemikian sehingga MSE prediksinya minimal. MSE adalah

$$\frac{\sum_{i=1}^{25} |x_i - f(\bar{x}_i)|^2}{25}$$

dengan x_i adalah tingkat inflasi tahun ke- i dan $f(\bar{x}_i)$ adalah

perkiraan tingkat inflasi tahun ke- i berdasarkan model *fuzzy* diperoleh. Besarnya MSE untuk setiap model fuzzy dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Perbandingan besarnya MSE untuk model fuzzy
dengan 5 input-1output.

Model	Banyaknya aturan fuzzy	Jenis fungsi keanggotaan	Jenis mesin inferensi fuzzy	MSE
1	17	Gaussian	pergandaan	6,275
2	25	Gaussian	pergandaan	14,496
3	17	Gaussian	minimum	6,978
4	25	Gaussian	minimum	5,790
5	17	Segitiga	pergandaan	40,573
6	25	Segitiga	pergandaan	209,020
7	17	Segitiga	minimum	203,990
8	25	segitiga	minimum	202,610

Berdasarkan Tabel 1, Model *fuzzy* (4) mempunyai MSE minimal sebesar 5,790. dengan tingkat keakuratan prediksi untuk tingkat inflasi tahun 2006 adalah 99,3803%.

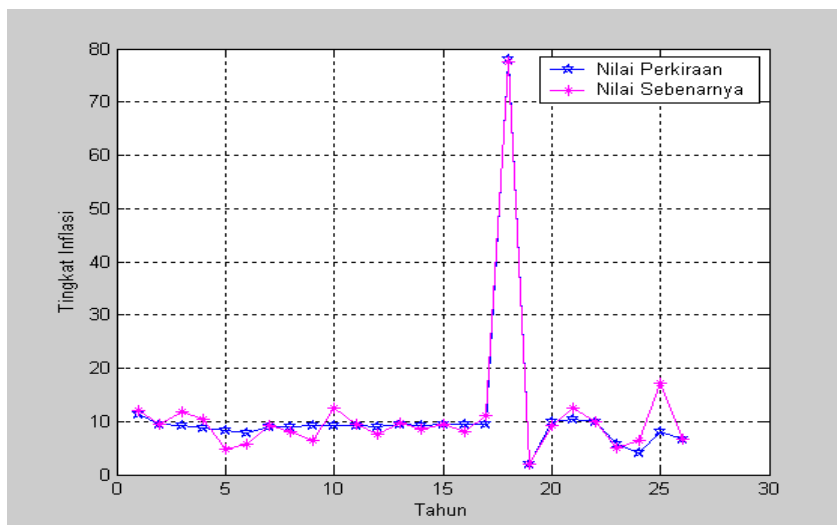
Misal $x_i = f(x_{i-1}, y_{2,i-1}, y_{3,i-1}, y_{4,i-1}, y_{5,i-1})$ adalah perkiraan tingkat inflasi tahun ke- i berdasarkan input $(x_{i-1}, y_{2,i-1}, y_{3,i-1}, y_{4,i-1}, y_{5,i-1}; x_i)$, maka model fuzzy (4) dengan fungsi keanggotaan Gaussian, mesin inferensi minimum dan 25 aturan fuzzy adalah

$$x_i = f(x_{i-1}, y_{2,i-1}, y_{3,i-1}, y_{4,i-1}, y_{5,i-1})$$

$$= \frac{\sum_{l=1}^{25} \bar{y}^l \left(\min \left(\exp - \left(\frac{x_{i-1} - \bar{x}_{i-1}^l}{\sigma_1} \right)^2, \exp - \left(\frac{y_{2,i-1} - \bar{y}_{2,i-1}^l}{\sigma_2} \right)^2, \exp - \left(\frac{y_{3,i-1} - \bar{y}_{3,i-1}^l}{\sigma_3} \right)^2, \exp - \left(\frac{y_{4,i-1} - \bar{y}_{4,i-1}^l}{\sigma_4} \right)^2, \exp - \left(\frac{y_{5,i-1} - \bar{y}_{5,i-1}^l}{\sigma_5} \right)^2 \right) \right)}{\sum_{l=1}^{25} \min \left(\exp - \left(\frac{x_{i-1} - \bar{x}_{i-1}^l}{\sigma_1} \right)^2, \exp - \left(\frac{y_{2,i-1} - \bar{y}_{2,i-1}^l}{\sigma_2} \right)^2, \exp - \left(\frac{y_{3,i-1} - \bar{y}_{3,i-1}^l}{\sigma_3} \right)^2, \exp - \left(\frac{y_{4,i-1} - \bar{y}_{4,i-1}^l}{\sigma_4} \right)^2, \exp - \left(\frac{y_{5,i-1} - \bar{y}_{5,i-1}^l}{\sigma_5} \right)^2 \right)}$$

dengan $\bar{x}_{i-1}^l, \bar{y}_{2,i-1}^l, \bar{y}_{3,i-1}^l, \bar{y}_{4,i-1}^l, \bar{y}_{5,i-1}^l$ berturut-turut adalah pusat dari himpunan *fuzzy* input ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, ke-5 yang diperoleh dari 25 aturan *fuzzy* dan $\sigma_1^2 = 20, \sigma_2^2 = 3, \sigma_3^2 = 5, \sigma_4^2 = 0,28, \sigma_5^2 = 0,25$.

Grafik tingkat inflasi yang sebenarnya dengan nilai perkiraannya berdasarkan model *fuzzy* (4) dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1: Perbandingan nilai sebenarnya dan perkiraan inflasi di Indonesia berdasarkan model fuzzy (4).

E. Kesimpulan dan Saran

1. Kesimpulan

Pemodelan tingkat inflasi di Indonesia dengan sistem *fuzzy* mempunyai kelebihan dibandingkan pemodelan dengan cara lain yaitu proses pemodelan *fuzzy* menggunakan informasi dalam bentuk aturan yang didasarkan pada data real dan pengetahuan ahli serta transparan dalam pengambilan keputusan sehingga mudah untuk diuji dan dipahami. Selain itu input dari sistem fuzzy tidak harus bilangan real sehingga jika kita tidak mempunyai datapun, kita bisa memodelkannya dengan bantuan pendapat ahli yang dapat dinyatakan dalam aturan fuzzy. Peramalan tingkat inflasi dilakukan dengan menggunakan metode *table look-up scheme* berdasarkan data fuzzy time series multivariat. Berdasarkan kombinasi dari banyaknya himpunan fuzzy, jenis fungsi keanggotaan dan jenis mesin inferensi, diperoleh 8 model fuzzy dengan tingkat keakuratan yang berbeda-beda. Selanjutnya dengan memilih besarnya MSE minimal, maka model fuzzy dengan fungsi keanggotaan Gaussian, mesin inferensi minimum dan banyaknya aturan fuzzy 25 dapat digunakan untuk peramalan tingkat inflasi.

2. Saran

Di dalam penelitian ini, model yang optimal diperoleh dengan menentukan nilai parameter $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_6^2$ dengan cara coba-coba. Model akan semakin akurat jika semakin banyak aturan *fuzzy* dan fungsi keanggotaan yang dibentuk. Oleh karena itu perlu diteliti tentang banyaknya aturan *fuzzy* dan fungsi keanggotaan sedemikian sehingga modelnya optimal.

Daftar Pustaka

- Abadi, A.M., Subanar, Widodo & Saleh, S..(2006). Fuzzy model for estimating inflation rate. *Procceeding of International Conference on Mathematics and Natural Sciences*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Boediono.1985. *Ekonomi Moneter: Seri Pengantar Ilmu Ekonomi*. Yogyakarta: BPFE
- Chen, S.M..(1996). Forecasting enrollments based on fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, 81, 311-319.
- Chen, S.M..(2002). Forecasting enrollments based on high-order fuzzy time series. *Cybernetics and Systems Journal*, 33, 1-16.

- Chen, S.M. & Hsu, C.C..(2004). A new method to forecasting enrollments using fuzzy time series. *International Journal of Applied Sciences and Engineering*, 2,3, 234-244.
- Huarng, K..(2001). Heuristic models of fuzzy time series for forecasting. *Fuzzy Sets and Systems*, 123, 369-386.
- Hwang, J.R., Chen, S.M. & Lee, C.H.. (1998). Handling forecasting problems using fuzzy time series. *Fuzzy Sets and Systems*, 100, 217-228.
- Jilani, T.A., Burney, S.M.A. & Ardil, C..(2007). Multivariate high order fuzzy time series forecasting for car road accidents. *International Journal of Computational Intelligence*, 4,1, 15-20.
- Lee, L.W., Wang, L.H., Chen, S.M. & Leu, Y.H..(2006). Handling forecasting problems based on two-factors high order fuzzy time series. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 14,3, 468-477.
- Lipsey, R.G. and Steiner, P.O..(1981). *Economics*. Sixth Edition. New York: Harper and Row Publisher
- Muhson, A..(1999). *Faktor-faktor yang Mempengaruhi Inflasi di Indonesia*. Laporan penelitian DIK FIS UNY
- Sah, M. & Degtiarev, K.Y..(2004). Forecasting enrollments model based on first-order fuzzy time series. *Transaction on Engineering, Computing and Technology VI, Enformatika VI*, 375-378.
- Samuelson, P.A. and Nordhaus, W.D..(1986). *Ekonomi Jilid I*. (Alihbahasa: Jaka Wasana M.). Jakarta: Erlangga
- Song, Q. & Chissom, B.S..(1993). Forecasting enrollments with fuzzy time series, part I. *Fuzzy Sets and Systems*, 54, 1-9.
- Song, Q. & Chissom, B.S..(1993). Fuzzy time series and its models. *Fuzzy Sets and Systems*, 54, 269-277.
- Song, Q. & Chissom, B.S..(1994). Forecasting enrollments with fuzzy time series, part II. *Fuzzy Sets and Systems*, 62, 1-8.
- Sudarso.(1993). *Pengantar Ekonomi Makro*. Jakarta: Rineka Cipta
- Supranto, J..(1984). *Ekonometrik, Buku Dua*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi UI
- Wang., LX..(1997). *A Course in Fuzzy Systems and Control*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.